

新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落特征及其与环境因子的相关性

帕丽旦·艾海提, 阿不都拉·阿巴斯, 艾尼瓦尔·吐米尔^①

(新疆大学生命科学与技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要: 以盖度为指标,应用双向指示种分析(TWINSPAN)和除趋势对应分析(DCA)法对分布于新疆博格达山北坡的岩面生壳状地衣群落进行分类;采用 Sørensen 相似性系数和 Jaccard 相似性系数分析各群丛的种类相似性,并应用典范对应分析(CCA)法探讨供试区域岩面生壳状地衣群落的种类分布与环境因子的关系。结果表明:从供试区域的 15 个样地中共鉴定出岩面生壳状地衣 21 种,隶属于 3 目 7 科 13 属,其中盖度在 7% 以上的种类仅 4 种,其他种类的盖度均在 5% 以下。依据 TWINSPAN 和 DCA 分析结果,可将该岩面生壳状地衣群落划分为 4 个群丛,即亚洲平茶渍+粉瓣茶衣+小多盘衣群丛(Assoc. *Aspicilia asiatica*+*Lobothallia alphoplaca*+*Myriolecis hagenii*) (群丛 1)、青海茶渍+白边平茶渍群丛(Assoc. *Lecanora kukunorensis*+*Aspicilia sublaqueata*) (群丛 2)、地图衣+绿黑地图衣群丛(Assoc. *Rhizocarpon geographicum* + *Rhizocarpon viridiatrum*) (群丛 3)和石墙原类梅+亚凹网衣群丛(Assoc. *Protoparmeliopsis muralis*+*Lecidea subconca*) (群丛 4),分别包含 15、11、9 和 18 种岩面生壳状地衣。各群丛的种类相似性和多样性存在明显差异。群丛 1 和群丛 4 的种类相似性最高,Sørensen 相似性系数和 Jaccard 相似性系数分别为 0.441 和 0.650;群丛 1 和群丛 3 的种类相似性最低,Sørensen 相似性系数和 Jaccard 相似性系数分别为 0.294 和 0.227。群丛 1 至群丛 4 的 Shannon-Wiener 多样性指数依次为 1.483、1.804、0.318 和 2.954。CCA 分析结果显示:第 1、第 2 和第 3 排序轴的贡献率分别为 30.0%、22.4% 和 17.5%,包含总信息量的 69.9%;种类分布与环境因子的相关系数分别为 0.980、0.940 和 0.873。第 1 排序轴与坡度、海拔、光照程度和人为干扰程度呈正相关,与岩石长度和坡向呈负相关,且与坡度的相关性最高;第 2 排序轴与岩石长度和光照程度呈正相关,而与海拔、坡度、坡向和人为干扰程度呈负相关,且与坡向的相关性最高;第 3 排序轴与海拔和光照程度呈正相关,而与坡度、坡向、岩石长度和人为干扰程度呈负相关。研究结果显示:新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落的种类分布主要受坡向、坡度、岩石长度和光照程度等因子影响,而人为干扰程度和海拔则无明显的影响效应。

关键词: 新疆博格达山; 岩面生壳状地衣; 群落结构; 群落特征; 物种多样性; 环境因子

中图分类号: Q948.1; Q949.34 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2018)04-0021-10

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.04.03

Characteristics of saxicolous crustose lichen community on northern slope of Bogda Mountain in Xinjiang and its correlation with environmental factors AHAT Parida, ABBAS Abdulla, TUMUR Anwar^① (College of Life Sciences and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2018, 27(4): 21-30

Abstract: Taking coverage as an indicator, saxicolous crustose lichen community on northern slope of Bogda Mountain in Xinjiang were classified by using two-way indicator species analysis (TWINSPAN) and detrended correspondence analysis (DCA) methods. Species similarities of each association were analyzed by using similarity coefficients of Sørensen and Jaccard, and relationship of species distribution of saxicolous crustose lichen community with environmental factors was studied by using canonical

收稿日期: 2018-02-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31660009)

作者简介: 帕丽旦·艾海提(1992—),女,维吾尔族,新疆喀什人,硕士研究生,主要从事地衣系统分类及生态学研究。

^①通信作者 E-mail: anwartumursk@xju.edu.cn

correspondence analysis (CCA) method. The results show that 21 saxicolous crustose lichen species belonging to 13 genera in 7 families of 3 orders are identified from 15 plots in tested area in total, in which only coverage of 4 species is higher than 7%, while coverage of other species is lower than 5%. According to TWINSPLAN and DCA analysis results, saxicolous crustose lichen community can be classified into 4 associations, including Assoc. *Aspicilia asiatica* + *Lobothallia alphoplaca* + *Myriolecis hagenii* (Assoc. 1), Assoc. *Lecanora kukunorensis* + *Aspicilia sublaqueata* (Assoc. 2), Assoc. *Rhizocarpon geographicum* + *Rhizocarpon viridiatrum* (Assoc. 3), and Assoc. *Protoparmeliopsis muralis* + *Lecidea subconca* (Assoc. 4), which contain 15, 11, 9, and 18 saxicolous crustose lichen species, respectively. There are evident differences in species similarity and diversity of each association. Species similarity between Assoc. 1 and Assoc. 4 is the highest, and similarity coefficients of Sørensen and Jaccard are 0.441 and 0.650, respectively; species similarity between Assoc. 1 and Assoc. 3 is the lowest, and similarity coefficients of Sørensen and Jaccard are 0.294 and 0.227, respectively. Shannon-Wiener diversity index from Assoc. 1 to Assoc. 4 is 1.483, 1.804, 0.318, and 2.954, respectively. The CCA analysis result show that contribution rates of axis 1, axis 2, and axis 3 are 30.0%, 22.4%, and 17.5%, respectively, including 69.9% of the total information; correlation coefficients of species distribution with environmental factors are 0.980, 0.940, and 0.873, respectively. Axis 1 shows positive correlations with slope, altitude, light degree, and human disturbance degree, but negative correlations with rock length and aspect, and the correlation with slope is the highest; axis 2 shows positive correlations with rock length and light degree, but negative correlations with altitude, slope, aspect, and human disturbance degree, and the correlation with aspect is the highest; axis 3 shows positive correlations with altitude and light degree, but negative correlations with slope, aspect, rock length, and human disturbance degree. It is suggested that species distribution of saxicolous crustose lichen community on northern slope of Bogda Mountain in Xinjiang are mainly affected by aspect, slope, rock length, and light degree, while human disturbance degree and altitude have no obvious effect.

Key words: Bogda Mountain in Xinjiang; saxicolous crustose lichen; community structure; community characteristics; species diversity; environmental factor

壳状地衣 (crustose lichens) 是指牢固地着生在岩石、土壤和树皮上的一类地衣, 其地衣体呈粉片状 (powdery)、小鳞片状 (squamulose)、半灌木状 (suffruticose)、盾状 (peltate)、起泡状 (bullate) 和裂片状 (lobate) 等; 其菌丝与基质紧密贴连, 无下皮层, 很难与基物剥离^[1]。一般岩面生壳状地衣对栖息环境的适应能力较强, 广泛分布于裸露岩石等条件较差的原生环境中, 通过分泌次生代谢物质腐蚀栖息地, 改善栖息地的微环境, 为枝状和叶状地衣的侵入和定居提供条件, 从而加速地衣群落演替过程^[2-4]。此外, 壳状地衣还可以作为昆虫的食物进入食物链促进生态系统的物质循环和能量流动^[5]。

岩面生壳状地衣种类的分布受岩石的种类、化学成分、坡度和坡向等因子以及光照强度等多种环境因子的限制, 如在硅质岩、钙质岩和元素含量丰富的岩石上分布的地衣种类具有显著差异^[6-7]。Spitale 等^[8]认为, 分布于意大利阿尔卑斯山脉钙质岩上的岩面生壳状地衣种类主要受岩石类型和理化性质的影响, 而当地的环境因子则对其无显著影响; John 等^[9]对加拿大阿尔伯塔省贾斯珀国家公园乔纳斯滑

坡的岩面生地衣群落结构与非生物环境因子关系的研究结果显示: 岩石坡度和岩石表面的水分含量、积雪厚度以及光照强度等环境因子的梯度变化共同影响岩面生地衣群落的物种组成及分布; Fodor^[10]发现, Măcin 山区的岩面生地衣群落形成集合种群, 不同区域的小群落结构受岩石种类、光照、湿度和种间关系的影响, 同时人为导致的富营养化也对地衣群落的种类分布格局产生影响; Purvis 等^[6]认为, 分布在岩石表面的微孢衣科 (Acarosporaceae) 地衣的种类和颜色与生境中的光照度有关, 一般在光线较强环境中的地衣颜色较深, 在光线较弱环境中的地衣颜色较浅。作者对新疆乌鲁木齐南部山区和托木尔峰自然保护区等区域的研究结果表明: 岩面生地衣群落的结构及其种类分布与样地的海拔、光照度、岩面 pH 值、微环境的相对湿度和干扰强度等因子有关^[11-12]。因此, 不同生境条件下岩面生壳状地衣群落的种类组成、多样性和结构特征存在明显差异。

目前, 国外研究者对岩面生壳状地衣的物种多样性、群落结构和物种分布格局等方面已有较多研究^[13-18], 而国内研究者的研究方向主要涉及壳状地

衣物多样性等方面^[19-20],虽然近年来也有学者尝试采用植物群落定量方法对地衣群落^[21-24]进行研究,如作者前期对新疆乌鲁木齐南部山区、托木尔峰自然保护区、阿尔泰山和博格达山等区域的岩面生地衣群落结构和物种多样性进行了研究^[11-12,25-26],但目前对岩面生壳状地衣群落物种组成和群落结构特征尚缺乏系统和深入的了解,而对岩面生壳状地衣群落的研究有助于探求岩面生地衣群落构建的成因和物种多样性的维持机制等方面。

新疆博格达山具有天山北坡典型的山地垂直自然带谱,为全球温带干旱区山地垂直带的典型代表,是全球气候变化条件下干旱区山地生态系统生物群落演替的研究范例,同时也是中国生物多样性保护的优先区域。该地区分布的生物很多是白垩纪的残遗种类,突出代表了帕米尔-天山山地生物地理省生物群落演变和进化的过程^[26]。鉴于此,作者采用数值分类方法对博格达山北坡壳状地衣群落结构特征进行研究,以期进一步了解该区域地衣资源的分布规律及影响地衣分布的生态环境因子,为该区域地衣物种

多样性的有效保护提供参考依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区在中国新疆维吾尔自治区阜康市境内,位于东天山博格达峰的北麓、准噶尔盆地古尔班通古特沙漠的南缘,地理坐标为北纬 43°45'~43°59'、东经 88°00'~88°20',总面积 38 069 hm²。研究区的自然概况详见文献^[27]。

1.2 研究方法

1.2.1 种类调查和鉴定 采用典型取样法,在博格达山北坡选择有代表性的地段进行常规群落调查,在海拔 2 030~2 405 m 区域顺次设置 15 个面积 20 m×20 m 的样地,在每个样地内划分 5 个面积 2 m×2 m 的样方,调查各样地的海拔、坡度、坡向、岩石长度(岩石上表面最长直径)、光照程度和人为干扰程度^[11-12],记录样方内的岩面生壳状地衣种类,并采集地衣标本。各样地的环境概况见表 1。

表 1 新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落样地概况

Table 1 Status of plots of saxicolous crustose lichen community on northern slope of Bogda Mountain in Xinjiang

样地编号 No. of plot	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	坡向 Aspect	岩石长度/cm Rock length	光照程度 Light degree	人为干扰程度 Human disturbance degree
1	2 030	2.44	西北 Northwest	109	中等 Medium	强 Strong
2	2 130	4.49	东南 Southeast	175	较强 Relatively strong	中等 Medium
3	2 270	8.18	西北 Northwest	270	中等 Medium	中等 Medium
4	2 280	5.33	南 South	105	强 Strong	无 None
5	2 180	2.31	西北 Northwest	134	中等 Medium	强 Strong
6	2 160	4.53	东南 Southeast	198	较强 Relatively strong	中等 Medium
7	2 055	2.63	西北 Northwest	112	中等 Medium	强 Strong
8	2 065	2.47	西北 Northwest	145	中等 Medium	强 Strong
9	2 180	4.68	东南 Southeast	168	较强 Relatively strong	中等 Medium
10	2 075	2.24	西北 Northwest	123	中等 Medium	强 Strong
11	2 350	5.61	南 South	98	强 Strong	无 None
12	2 205	8.49	西北 Northwest	220	中等 Medium	中等 Medium
13	2 230	8.74	西北 Northwest	237	中等 Medium	中等 Medium
14	2 380	5.45	南 South	115	强 Strong	无 None
15	2 405	5.53	南 South	110	强 Strong	无 None

在各样方中选择长度大于 50 cm 的岩面,划分成 81 个面积 2.22 cm×2.22 cm 的网格,统计每种岩面生壳状地衣种类所占网格数,根据公式“盖度=(某种类所占网格数/81)×100%”计算该地衣种类在样方中的盖度,并以样方中各种类的平均盖度作为样地中各种类的盖度。

采用化学显色反应法^[28],并使用舜宇 SZM45 体视显微镜(上海光学仪器一厂)观察地衣体的皮层、髓层和子囊盘部分。将地衣标本制作成切片,用 Nikon ECLIPSE E100 光学显微镜(日本尼康株式会社)观察子囊和子囊孢子等形态特征。

1.2.2 数据分析 根据野外调查结果,以样地为对

象、岩面生壳状地衣的盖度为指标,构建 21 个地衣种类和 15 个样地的 21×15 矩阵,采用双向指示种分析 (TWINSpan) 和除趋势对应分析 (DCA) 法进行地衣群丛分类^[29-31],并以优势地衣种类的盖度为指标对各岩面生壳状地衣群丛进行命名,盖度最大的种类为指示种;采用典范对应分析 (CCA) 法分析岩面生壳状地衣群落的种类分布与环境因子的关系。

根据文献^[32-34]的方法计算各样地岩面生壳状地衣的 Patrick 指数 (物种丰富度,为各样方中的平均地衣种数)、Sørensen 相似性系数、Jaccard 相似性系数和 Shannon-Wiener 多样性指数等指标,并比较各群丛的种类多样性和相似性。

采用 WinTWINS 2.3 软件进行 TWINSpan 分析,并采用 CANOCO for Windows 4.5 软件进行 DCA 和 CCA 分析。

2 结果和分析

2.1 群落的种类组成

新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落的地衣种类组成及其盖度见表 2。调查结果表明:博格达山北坡的岩面生壳状地衣群落共包含地衣 21 种,隶属于 3 目 7 科 13 属。其中,茶渍目 (Lecanorales) 地衣占优势,共有 4 科 8 属 12 种,分别占该地区岩面生壳状地衣科、属和种总数的 57.1%、61.5% 和 57.1%;鸡皮衣目 (Pertusariales) 地衣共有 1 科 3 属 5 种,分别占该地区岩面生壳状地衣科、属和种总数的 14.3%、23.1% 和 23.8%;黄枝衣目 (Teloschistales) 地衣共有 2 科 2 属 4 种,分别占该地区岩面生壳状地衣科、属和种总数的 28.6%、15.4% 和 19.0%。

表 2 新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落的种类组成及盖度

Table 2 Species composition and coverage of saxicolous crustose lichen community on northern slope of Bogda Mountain in Xinjiang

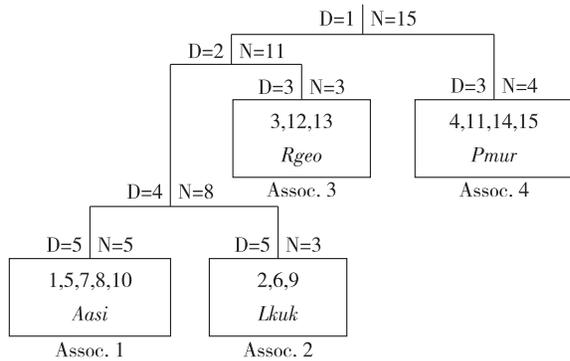
科 Family	属 Genus	种 Species	盖度/% Coverage	
茶渍目 Lecanorales				
杆孢衣科 Bacidiaceae	杆孢衣属 <i>Bacidia</i>	藓生杆孢衣 <i>Bacidia bagliettoana</i>	2.17	
	泡鳞衣属 <i>Toninia</i>	兰黑泡鳞衣 <i>Toninia coeruleonigricans</i>	1.78	
茶渍衣科 Lecanoraceae	茶渍属 <i>Lecanora</i>	聚茶渍 <i>Lecanora accumulata</i>	3.23	
		青海茶渍 <i>Lecanora kukunorensis</i>	10.75	
		斯瓦氏茶渍 <i>Lecanora swartzii</i>	2.41	
		多盘衣属 <i>Myriolecis</i>	小多盘衣 <i>Myriolecis hagenii</i>	1.52
		原类梅属 <i>Protoparmeliopsis</i>	石墙原类梅 <i>Protoparmeliopsis muralis</i>	9.52
		小网衣属 <i>Lecidella</i>	优果小网衣 <i>Lecidella euphorea</i>	4.51
网衣科 Lecideaceae	网衣属 <i>Lecidea</i>	亚凹网衣 <i>Lecidea subconcava</i>	2.54	
		斑纹网衣 <i>Lecidea tessellata</i>	1.65	
地图衣科 Rhizocarpaceae	地图衣属 <i>Rhizocarpon</i>	绿黑地图衣 <i>Rhizocarpon viridiatrum</i>	3.64	
		地图衣 <i>Rhizocarpon geographicum</i>	8.43	
		亚洲平茶渍 <i>Aspicilia asiatica</i>	7.54	
鸡皮衣目 Pertusariales				
大孢衣科 Megasporeaceae	平茶渍属 <i>Aspicilia</i>	包氏平茶渍 <i>Aspicilia bohlinii</i>	2.31	
		白边平茶渍 <i>Aspicilia sublaqueata</i>	4.25	
		小疣巨孢衣 <i>Megaspora verrucosa</i>	1.37	
	巨孢衣属 <i>Megaspora</i>	粉瓣茶衣属 <i>Lobothallia</i>	粉瓣茶衣 <i>Lobothallia alphoplaca</i>	3.61
		黄枝衣目 Teloschistales		
黄枝衣科 Teloschistaceae	美衣属 <i>Calogaya</i>	类锈美衣 <i>Calogaya ferrugineoides</i>	4.13	
		小美衣 <i>Calogaya pusilla</i>	2.33	
蜈蚣衣科 Physciaceae	饼干衣属 <i>Rinodina</i>	包氏饼干衣 <i>Rinodina bohlinii</i>	1.26	
		矮饼干衣 <i>Rinodina demissa</i>	1.94	

从盖度看,21 种岩面生壳状地衣中,盖度在 7% 以上的种类仅 4 种,包括青海茶渍 (*Lecanora kukunorensis* H. Magn)、石墙原类梅 [*Protoparmeliopsis muralis* (Schreb.) M. Choisy]、地图衣 [*Rhizocarpon*

geographicum (Linn.) DC.] 和亚洲平茶渍 [*Aspicilia asiatica* (H. Magn.) Yoshim.], 其盖度分别为 10.75%、9.52%、8.43% 和 7.54%; 其他种类的盖度均在 5% 以下,其中 6 种的盖度在 2% 以下。

2.2 群落的数量分类及相似性分析

2.2.1 群落的分类及特征 以新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落的 21 个壳状地衣种类的盖度为指标,对 15 个样地进行 TWINSpan 与 DCA 分析,结果分别见图 1 和图 2。结果表明:新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落的 15 个样地可划分为 4 组,可描述为 4 个群丛,各群丛的种类数量和盖度以及生境特征见表 3。



D: 分类等级 Classification degree; N: 样地数 Plot number; 方框中的数字为样地编号 The numerals in the box are Nos. of plots; 方框中的缩写表示盖度最大的指示种 The abbreviations in the box represent the indicator species with the highest coverage. Rgeo: 地图衣 *Rhizocarpon geographicum* (Linn.) DC.; Pmur: 石墙原类梅 *Prototarmeliopsis muralis* (Schreb.) M. Choisy; Aasi: 亚洲平茶渍 *Aspicilia asiatica* (H. Magn.) Yoshim.; Lkuk: 青海茶渍 *Lecanora kukunorensis* H. Magn. Assoc. 1: 亚洲平茶渍 + 粉瓣茶衣 + 小多盘衣群丛 Assoc. *Aspicilia asiatica* + *Lobothallia alphoplaca* + *Myriolecis hagenii*; Assoc. 2: 青海茶渍 + 白边平茶渍群丛 Assoc. *Lecanora kukunorensis* + *Aspicilia sublaqueata*; Assoc. 3: 地图衣 + 绿黑地图衣群丛 Assoc. *Rhizocarpon geographicum* + *Rhizocarpon viridiatrum*; Assoc. 4: 石墙原类梅 + 亚凹网衣群丛 Assoc. *Prototarmeliopsis muralis* + *Lecidea subconca*.

图 1 新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落中 15 个样地的双向指示种分析 (TWINSpan) 分类树状图

Fig. 1 Classification dendrogram of two-way indicator species analysis (TWINSpan) of 15 plots of saxicolous crustose lichen community on northern slope of Bogda Mountain in Xinjiang

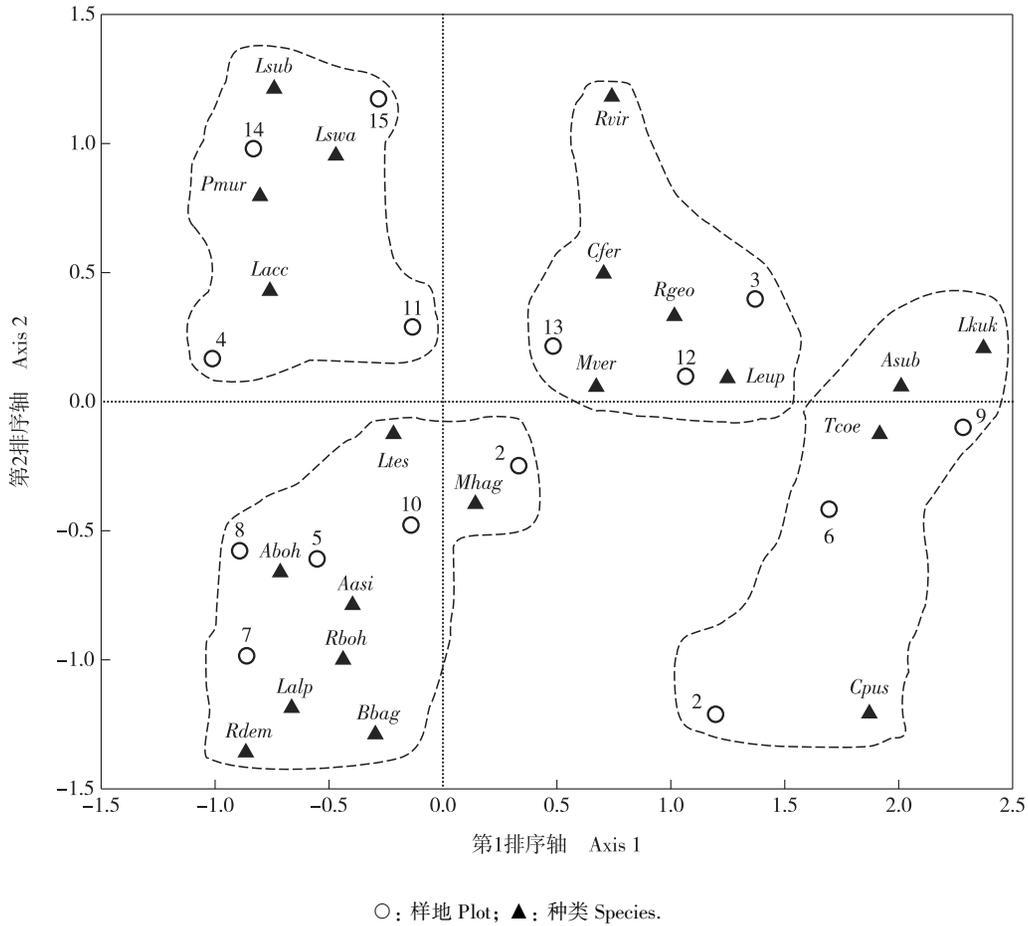
群丛 1: 亚洲平茶渍 + 粉瓣茶衣 + 小多盘衣群丛 (Assoc. *Aspicilia asiatica* + *Lobothallia alphoplaca* + *Myriolecis hagenii*)。包括样地 1、5、7、8 和 10; 分布于平均海拔 2 053 m、平均坡度 2.41°、西北向、平均岩石长度 125 cm、光照中等、人为干扰程度强的地段。分布有亚洲平茶渍、包氏平茶渍 [*Aspicilia bohlinii* (H. Magn.) J. C. Wei]、粉瓣茶衣 [*Lobothallia alphoplaca* (Wahlenb.) Hafellner]、斑纹网衣 (*Lecidea tessellata* Flörke)、小多盘衣 [*Myriolecis hagenii* (Ach.) Śliwa, Zhao Xin et Lumbsch]、包氏饼干衣 (*Rinodina bohlinii*

H. Magn.) 和 藓生杆孢衣 [*Bacidia bagliettoana* (A. Massal. et De Not) Jatta] 等 15 种岩面生壳状地衣。该群丛的壳状地衣总盖度为 14.13%, 盖度在 0.8% 以上的种类有 8 种, 其中亚洲平茶渍的盖度最大 (3.32%), 为指示种。

群丛 2: 青海茶渍 + 白边平茶渍群丛 (Assoc. *Lecanora kukunorensis* + *Aspicilia sublaqueata*)。包括样地 2、6 和 9; 分布于平均海拔 2 157 m、平均坡度 4.57°、东南向、平均岩石长度 180 cm、光照较强、人为干扰程度中等的地段。分布有青海茶渍、白边平茶渍 [*Aspicilia sublaqueata* (H. Magn.) J. C. Wei]、小美衣 [*Calogaya pusilla* (A. Massal.) Arup, Frödén et Söchting] 和 兰黑泡鳞衣 [*Toninia coeruleonigrans* (Lightf.) Th. Fr.] 等 11 种岩面生壳状地衣。该群丛的岩面生壳状地衣总盖度为 10.46%, 盖度在 0.8% 以上的种类有 4 种, 其中青海茶渍的盖度最大 (2.75%), 为指示种。

群丛 3: 地图衣 + 绿黑地图衣群丛 (Assoc. *Rhizocarpon geographicum* + *Rhizocarpon viridiatrum*)。包括样地 3、12 和 13; 分布于平均海拔 2 200 m、平均坡度 8.47°、西北向、平均岩石长度 242 cm、光照中等和人为干扰程度中等的地段。分布有优果小网衣 [*Lecidella euphorea* (Florke) Hertel]、绿黑地图衣 [*Rhizocarpon viridiatrum* (Wulfen) Körber]、地图衣、小疣巨孢衣 [*Megaspora verrucosa* (Ach.) Hafellner et V. Wirth]、类锈美衣 [*Calogaya ferrugineoides* (H. Magn.) Arup, Frödén et Söchting]、小美衣和青海茶渍等 9 种岩面生壳状地衣。该群丛的岩面生壳状地衣总盖度为 9.26%, 盖度在 0.8% 以上的种类有 5 种, 其中地图衣的盖度最大 (1.98%), 为指示种。

群丛 4: 石墙原类梅 + 亚凹网衣群丛 (Assoc. *Prototarmeliopsis muralis* + *Lecidea subconca*)。包括样地 4、11、14 和 15; 分布于平均海拔 2 353 m、平均坡度 5.47°、南向、平均岩石长度 107 cm、光照强和无人干扰的地段。分布有亚凹网衣 (*Lecidea subconca* H. Magn.)、聚茶渍 (*Lecanora accumulata* H. Magn.)、石墙原类梅 [*Prototarmeliopsis muralis* (Schreb.) M. Choisy]、斯瓦氏茶渍 [*Lecanora swartzii* (Ach.) Ach.]、类锈美衣和绿黑地图衣等 18 种岩面生壳状地衣。该群丛的岩面生壳状地衣总盖度为 19.23%, 盖度在 0.8% 以上的种类有 4 种, 其中石墙原类梅的盖度最大 (2.15%), 为指示种。



Bbag: 藓生杆孢衣 *Bacidia bagliettoana* (A. Massal. et De Not) Jatta; Tcoe: 兰黑泡鳞衣 *Toninia coeruleonigricans* (Lightf.) Th. Fr.; Lacc: 聚茶渍 *Lecanora accumulata* H. Magn.; Lkuk: 青海茶渍 *Lecanora kukunorensis* H. Magn.; Lswa: 斯瓦氏茶渍 *Lecanora swartzii* (Ach.) Ach.; Mhag: 小多盘衣 *Myriolecis hagenii* (Ach.) Šliwa, Zhao Xin et Lumbsch; Pmur: 石墙原类梅 *Protoparmeliopsis muralis* (Schreb.) M. Choisy; Leup: 优果小网衣 *Lecidella euphorea* (Florke) Hertel; Lsub: 亚凹网衣 *Lecidea subconca* H. Magn.; Ltes: 斑纹网衣 *Lecidea tessellata* Flörke; Rvir: 绿黑地图衣 *Rhizocarpon viridiatrum* (Wulfen) Körber; Rgeo: 地图衣 *Rhizocarpon geographicum* (Linn.) DC.; Aasi: 亚洲平茶渍 *Aspicilia asiatica* (H. Magn.) Yoshim.; Aboh: 包氏平茶渍 *Aspicilia bohlinii* (H. Magn.) J. C. Wei; Asub: 白边平茶渍 *Aspicilia sublaqueata* (H. Magn.) J. C. Wei; Mver: 小疣巨孢衣 *Megaspora verrucosa* (Ach.) Hafellner et V. Wirth; Lalp: 粉瓣茶衣 *Lobothallia alphoplaca* (Wahlenb.) Hafellner; Cfer: 类锈美衣 *Calogaya ferrugineoides* (H. Magn.) Arup, Fröden et Söchtng; Cpus: 小美衣 *Calogaya pusilla* (A. Massal.) Arup, Fröden et Söchtng; Rboh: 包氏饼干衣 *Rinodina bohlinii* H. Magn.; Rdem: 矮饼干衣 *Rinodina demissa* (Flörke) Arnold. 图中数字为样地编号 The numerals in the figure are Nos. of plots.

图 2 新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落种类和样地的除趋势对应分析 (DCA) 二维排序图
 Fig. 2 Two-dimensional ordination diagram of detrended correspondence analysis (DCA) among species and plots of saxicolous crustose lichen community on northern slope of Bogda Mountain in Xinjiang

表 3 新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落 4 个群丛的特征
 Table 3 Characteristics of four associations of saxicolous crustose lichen community on northern slope of Bogda Mountain in Xinjiang

群丛 ¹⁾ Association ¹⁾	样地数 Plot number	D ²⁾	总盖度/% Total coverage	平均 海拔/m Average altitude	平均 坡度/(°) Average slope	坡向 Aspect	平均岩石 长度/cm Average rock length	光照程度 Light degree	人为干扰程度 Human disturbance degree
Assoc. 1	5	15	14.13	2 053	2.41	西北 Northwest	125	中等 Medium	强 Strong
Assoc. 2	4	11	10.46	2 157	4.57	东南 Southeast	180	较强 Relatively strong	中等 Medium
Assoc. 3	3	9	9.26	2 200	8.47	西北 Northwest	242	中等 Medium	中等 Medium
Assoc. 4	3	18	19.23	2 353	5.47	南 South	107	强 Strong	无干扰 None

¹⁾ Assoc. 1: 亚洲平茶渍+粉瓣茶衣+小多盘衣群丛 Assoc. *Aspicilia asiatica*+*Lobothallia alphoplaca*+*Myriolecis hagenii*; Assoc. 2: 青海茶渍+白边平茶渍群丛 Assoc. *Lecanora kukunorensis*+*Aspicilia sublaqueata*; Assoc. 3: 地图衣+绿黑地图衣群丛 Assoc. *Rhizocarpon geographicum*+*Rhizocarpon viridiatrum*; Assoc. 4: 石墙原类梅+亚凹网衣群丛 Assoc. *Protoparmeliopsis muralis*+*Lecidea subconca*.

²⁾ D: Patrick 指数 Patrick index.

2.2.2 群丛的种类相似性和多样性分析 采用 Sørensen 相似性系数和 Jaccard 相似性系数对新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落 4 个群丛的种类相似性进行分析,结果见表 4。

由表 4 可见:4 个群丛的种类相似性差异明显。其中,群丛 1 与群丛 4 的 Sørensen 相似性系数和 Jaccard 相似性系数均最高,分别为 0.441 和 0.650,说明这 2 个群丛间的种类相似性最高;而群丛 1 与群

丛 3 的 Sørensen 相似性系数和 Jaccard 相似性系数均最低,分别为 0.294 和 0.227,说明这 2 个群丛间的种类相似性最低。

此外,各群丛的 Shannon-Wiener 多样性指数也有较大差异。其中,群丛 4 的 Shannon-Wiener 多样性指数最大,为 2.954;群丛 1、群丛 2 和群丛 3 的 Shannon-Wiener 多样性指数分别为 1.483、1.804 和 0.318。

表 4 新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落 4 个群丛的 Sørensen 相似性系数和 Jaccard 相似性系数¹⁾

Table 4 Similarity coefficients of Sørensen and Jaccard of four associations of saxicolous crustose lichen community on northern slope of Bogda Mountain in Xinjiang¹⁾

群丛 Association	不同群丛间的 Sørensen 相似性系数 Sørensen similarity coefficient among different associations				不同群丛间的 Jaccard 相似性系数 Jaccard similarity coefficient among different associations			
	Assoc. 1	Assoc. 2	Assoc. 3	Assoc. 4	Assoc. 1	Assoc. 2	Assoc. 3	Assoc. 4
Assoc. 1	1.000				1.000			
Assoc. 2	0.409	1.000			0.529	1.000		
Assoc. 3	0.294	0.333	1.000		0.227	0.263	1.000	
Assoc. 4	0.441	0.408	0.372	1.000	0.650	0.526	0.421	1.000

¹⁾ Assoc. 1: 亚洲平茶渍+粉瓣茶衣+小多盘衣群丛 Assoc. *Aspicilia asiatica*+*Lobothallia alphoplaca*+*Myriolecis hagenii*; Assoc. 2: 青海茶渍+白边平茶渍群丛 Assoc. *Lecanora kukunorensis*+*Aspicilia sublaqueata*; Assoc. 3: 地图衣+绿黑地图衣群丛 Assoc. *Rhizocarpon geographicum*+*Rhizocarpon viridiatrum*; Assoc. 4: 石墙原类梅+亚凹网衣群丛 Assoc. *Protoparmeliopsis muralis*+*Lecideia subconcaeva*.

2.3 群落的种类分布及其与环境因子的关系

新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落的典范对应分析(CCA)排序结果见表 5;样地的环境因子与 CCA 前 3 个排序轴的相关性分析结果见表 6;岩面生壳状地衣群落的种类分布与环境因子的 CCA 二维排序图见图 3。

由表 5 可见:CCA 第 1、第 2 和第 3 排序轴的特征值分别为 0.649、0.486 和 0.380;贡献率分别为 30.0%、22.4%和 17.5%,包含总信息量的 69.9%;种类分布与环境因子的相关系数分别为 0.980、0.940 和 0.873,说明 CCA 排序轴与环境因子的线性结合程度可较为准确地反映种类分布与环境因子的关系,排序结果可靠。

由表 6 可见:CCA 第 1 排序轴与坡度、海拔、光照程度和人为干扰程度呈正相关,而与岩石长度和坡向呈负相关,且与坡度的相关性最高,相关系数为 0.938;

表 5 新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落的典范对应分析(CCA)排序结果

Table 5 Ordination result on canonical correspondence analysis (CCA) of saxicolous crustose lichen community on northern slope of Bogda Mountain in Xinjiang

排序轴 Axis	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate	R ¹⁾
1	0.649	30.0	30.0	0.980**
2	0.486	22.4	52.4	0.940**
3	0.380	17.5	69.9	0.873**

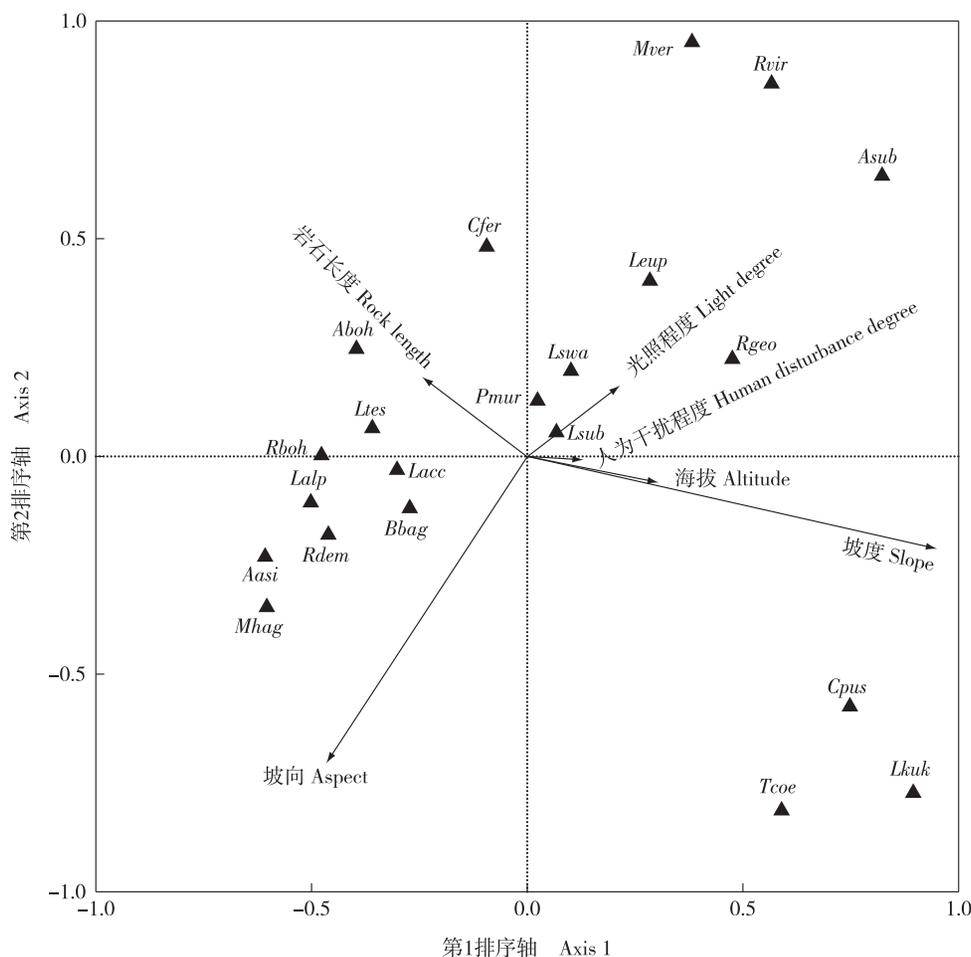
¹⁾ R: 地衣种类与环境因子的相关系数 Correlation coefficient of lichen species with environmental factors. **: P<0.01.

表 6 新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落的典范对应分析(CCA)前 3 个排序轴与环境因子的相关系数

Table 6 Correlation coefficient of the first three ordination axes of canonical correspondence analysis (CCA) with environmental factors of saxicolous crustose lichen community on northern slope of Bogda Mountain in Xinjiang

排序轴 Axis	与环境因子的相关系数 ¹⁾ Correlation coefficient with environmental factors ¹⁾					
	海拔 Altitude	坡度 Slope	坡向 Aspect	岩石长度 Rock length	光照程度 Light degree	人为干扰程度 Human disturbance degree
1	0.302*	0.938**	-0.461*	-0.245	0.215	0.134
2	-0.058	-0.201	-0.757**	0.175	0.153	-0.007
3	0.320*	-0.076	-0.399*	-0.349*	0.319*	-0.249

¹⁾ *: P<0.05; **: P<0.01.



Bbag: 藓生杆孢衣 *Bacidia bagliettoana* (A. Massal. et De Not) Jatta; *Tcoe*: 兰黑泡鳞衣 *Toninia coeruleonigricans* (Lightf.) Th. Fr.; *Lacc*: 聚茶渍 *Lecanora accumulata* H. Magn.; *Lkuk*: 青海茶渍 *Lecanora kukunorensis* H. Magn.; *Lswa*: 斯瓦氏茶渍 *Lecanora swartzii* (Ach.) Ach.; *Mhag*: 小多盘衣 *Myriolecis hagenii* (Ach.) Šliwa, Zhao Xin et Lumbsch; *Pmur*: 石墙原类梅 *Protoparmeliopsis muralis* (Schreb.) M. Choisy; *Leup*: 优果小网衣 *Lecidella euphorea* (Florke) Hertel; *Lsub*: 亚凹网衣 *Lecidea subconcaua* H. Magn.; *Ltes*: 斑纹网衣 *Lecidea tessellata* Flörke; *Rvir*: 绿黑地图衣 *Rhizocarpon viridiatrum* (Wulfen) Körber; *Rgeo*: 地图衣 *Rhizocarpon geographicum* (Linn.) DC.; *Aasi*: 亚洲平茶渍 *Aspicilia asiatica* (H. Magn.) Yoshim.; *Aboh*: 包氏平茶渍 *Aspicilia bohlinii* (H. Magn.) J. C. Wei; *Asub*: 白边平茶渍 *Aspicilia sublaqueata* (H. Magn.) J. C. Wei; *Mver*: 小疣巨孢衣 *Megaspora verrucosa* (Ach.) Hafellner et V. Wirth; *Lalp*: 粉瓣茶衣 *Lobothallia alphoplaca* (Wahlenb.) Hafellner; *Cfer*: 类锈美衣 *Calogaya ferrugineoides* (H. Magn.) Arup, Frödén et Søchting; *Cpus*: 小美衣 *Calogaya pusilla* (A. Massal.) Arup, Frödén et Søchting; *Rboh*: 包氏饼干衣 *Rinodina bohlinii* H. Magn.; *Rdem*: 矮饼干衣 *Rinodina demissa* (Flörke) Arnold.

图 3 新疆博格达山北坡岩面生壳状地衣群落的种类分布与环境因子的典范对应分析 (CCA) 二维排序图

Fig. 3 Two-dimensional ordination diagram of canonical correspondence analysis (CCA) between species and environmental factors of saxicolous crustose lichen community on northern slope of Bogda Mountain in Xinjiang

CCA 第 2 排序轴与岩石长度和光照程度呈正相关,而与海拔、坡度、坡向和人为干扰程度呈负相关,且与坡向的相关性最高,相关系数为 -0.757 ;CCA 第 3 排序轴与海拔和光照程度呈正相关,而与坡度、坡向、岩石长度和人为干扰程度呈负相关。进一步说明本研究选择的环境因子对解释博格达山北坡岩面生壳状地衣的种类分布与生境的关系是合适的。

由图 3 可见,分布于第 1 象限的种类有小疣巨孢

衣、绿黑地图衣、白边平茶渍、优果小网衣、地图衣、斯瓦氏茶渍、石墙原类梅和亚凹网衣 8 种,其中,亚凹网衣、石墙原类梅和斯瓦氏茶渍的分布与光照程度的相关性不显著,其他种类的分布则与光照程度呈显著正相关,均分布在光照较强的岩石上表面。分布于第 2 象限的种类有类锈美衣、包氏平茶渍、斑纹网衣和包氏饼干衣 4 种,这些种类的分布与岩石长度呈正相关,其中,包氏平茶渍生长于较长的岩石上,而斑纹网

衣、类锈美衣和包氏饼干衣生长于中等长度的岩石上。分布于第3象限的种类有粉瓣茶衣、藓生杆孢衣、矮饼干衣〔*Rinodina demissa* (Flörke) Arnold〕、亚洲平茶渍、小多盘衣和聚茶渍6种,这些种类的分布与坡向相关,其中,小多盘衣和亚洲平茶渍分布在光照较弱的岩石阴面(偏北向),矮饼干衣和粉瓣茶衣分布在光照较强的岩石西南面。分布于第4象限的种类仅有兰黑泡鳞衣、青海茶渍和小美衣3种,这些种类的分布主要与坡度呈正相关,均分布在坡度大的岩石西北面。说明坡向、坡度、岩石长度和光照程度均对博格达山北坡岩面生壳状地衣的分布有明显影响,但人为干扰程度和海拔则无明显影响。

3 讨论和结论

探明地衣群落的结构和种类聚集机制是地衣生态学研究的核心问题之一,但目前对于地衣群落中不同地衣种类的共同分布机制存在争议,是由于随机因子还是种间相互作用和非生物因子的作用仍未有定论^[10]。岩面生地衣通过物理作用把菌丝体插入岩石基物,通过呼吸作用和合成有机化合物等生物和化学过程腐蚀岩石释放出离子,形成岩石的生物矿物质成分,这些成分作为营养物质影响菌丝体繁殖结构的形成^[35]。Deduke等^[7]发现:不同类型岩石表面的黄梅衣属〔*Xanthoparmelia* (Vain.) Hale〕的*Xanthoparmelia cumberlandia* (Gyelnik) Hale和北极衣属(*Arctoparmelia* Hale)的离心北极衣〔*Arctoparmelia centrifuga* (Linn.) Hale〕的分布与21种元素有相关性,导致岩石上这2种地衣的子囊盘数量、结构和子囊孢子数量等差异明显,这些差异影响了地衣的繁殖和扩散,从而导致地衣群落的种类组成和群落结构的差异。艾尼瓦尔·吐米尔等^[12]认为,新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生壳状地衣群落的物种分布受到海拔、光照强度、岩面pH值和岩石表面相对湿度的影响。本研究结果表明:分布于新疆博格达山北坡的岩面生壳状地衣群落由4个壳状地衣群丛组成,分别为亚洲平茶渍+粉瓣茶衣+小多盘衣群丛(群丛1)、青海茶渍+白边平茶渍群丛(群丛2)、地图衣+绿黑地图衣群丛(群丛3)和石墙原类梅+亚凹网衣群丛(群丛4);其中,群丛1与群丛4的种类相似性最高,群丛1与群丛3的种类相似性最低,这种差异与各群丛分布的栖息地微环境有一定关系,群丛1和群丛4栖息地的光

照程度和岩石长度等比较接近,二者的组成种类比较相似;而群丛3栖息地的微环境比较特殊,岩石长度和坡度均大于其他样地。

CCA排序结果显示:供试区域岩面生壳状地衣群落的种类分布主要受到坡向、坡度、岩石长度和光照程度等因子的影响,而人为干扰程度和海拔的影响效应则不明显。本研究各样地间海拔差异较小(仅约300m),这可能是导致供试样地间的岩面生壳状地衣种类分布没有出现随海拔而变化的主要原因。虽然供试研究区也有放牧和旅游等各类人为干扰,但岩面生壳状地衣对环境的适应性较强,具有较高的抗逆性,因此,人为干扰对该区域岩面生壳状地衣种类的分布没有明显影响。

在探明岩面生壳状地衣群丛的结构和种类聚集机制时,有必要研究不同岩石种类的理化特性与地衣体结构(地衣体的外部形态、繁殖结构和地衣型真菌的解剖结构)的关系。因而,对博格达山区地衣群落的深入研究应着重于不同海拔的基物种类及理化特性与地衣种类的关系,从而进一步分析地衣群落种类的聚集机制。

参考文献:

- [1] SEAWARD M R D. Lichen Ecology [M]. New York: Academic Press, 1997: 1-550.
- [2] NASH T H. Lichen Biology [M]. 2nd ed. London: Cambridge University Press, 2008: 1-486.
- [3] ADAMO P, VIOLANTE P. Weathering of rocks and neogenesis of minerals associated with lichen activity[J]. Applied Clay Sciences, 2000, 16(5/6): 229-256.
- [4] BJELLAND T, THORSETH I H. Comparative studies of the lichen-rock interface of four lichens in Vingen, western Norway [J]. Chemical Geology, 2002, 192(1): 81-98.
- [5] MATERNA J. Oribatid communities (Acari: Oribatida) inhabiting saxicolous mosses and lichens in the Krkonöse Mts. (Czech Republic)[J]. Pedobiologia, 2000, 44(1): 40-62.
- [6] PURVIS O W, CONVEY P, FLOWERDEW M J, et al. Iron localization in *Acarospora* colonizing schist on Signy Island [J]. Antarctic Science, 2013, 25: 24-30.
- [7] DEDUKE C, HALDEN N M, PIERCEY-NORMORE M D. Comparing element composition of rock substratum with lichen communities and the fecundity of *Arctoparmelia* and *Xanthoparmelia* [J]. Botany, 2016, 94(1): 41-51.
- [8] SPITALE D, NASCIBENE J. Spatial structure, rock type, and local environmental conditions drive moss and lichen distribution on calcareous boulders [J]. Ecological Research, 2012, 27(3): 633-638.

- [9] JOHN E, DALE M R T. Environmental correlates of species distributions in a saxicolous lichen community [J]. *Journal of Vegetation Sciences*, 1990, 1(3): 385-392.
- [10] FODOR E. Analysis of the saxicolous lichen communities in Măcin Mountains National Park [J]. *Acta Horti Botanici Bururestiensis*, 2015, 42(1): 67-86.
- [11] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯. 乌鲁木齐南部山区岩面生地衣群落特征的研究 [J]. *菌物学报*, 2009, 28(2): 178-188.
- [12] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿不都拉·阿巴斯. 新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落数量分类及其与环境相关性 [J]. *植物资源与环境学报*, 2015, 24(2): 80-87.
- [13] KUMAR J, RAI H, KHARE R, et al. Elevational controls of lichen communities in Zaskar valley, Ladakh, a Trans Himalayan cold desert [J]. *Tropical Plant Research*, 2014, 1(2): 48-54.
- [14] KÄFFER M I, MARTINS S M D A, ALVES C, et al. Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil [J]. *Ecological Indicators*, 2011, 11(5): 1319-1332.
- [15] ARMSTRONG R A, SMITH S N. Carbohydrates in the hypothallus and areolae of the crustose lichen *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC. [J]. *Symbiosis*, 2009, 49: 95-100.
- [16] PURVIS O W. Adaptation and interaction of saxicolous crustose lichens with metals [J]. *Botanical Studies*, 2014, 55: 23.
- [17] ARDELEAN I V, KELLER C, SCHEIDEGGER C. Effects of management on lichen species richness, ecological traits and community structure in the Rodnei Mountains National Park (Romania) [J]. *PLoS One*, 2015, 10(12): e0145808.
- [18] TEMINA M, KIDRON G J. The effect of dew on flint and limestone lichen communities in the Negev Desert [J]. *Flora*, 2015, 213: 77-84.
- [19] 赵娜, 苏庆军, 任强. 中国大陆壳状地衣 3 个新纪录种 [J]. *西北植物学报*, 2013, 33(8): 1700-1702.
- [20] 齐光月, 沙伟, 董原. 黑龙江省五大连池壳状地衣的物种多样性 [J]. *菌物研究*, 2015, 13(2): 122-128.
- [21] 王玉良, 阿地里江·阿不都拉, 艾尼瓦尔·吐米尔, 等. 鹫落坪自然保护区地面生地衣多样性及群落数量特征 [J]. *植物分类与资源学报*, 2012, 34(2): 199-207.
- [22] 李苏, 刘文耀, 石贤萌. 亚热带森林系统 4 种附生蓝藻地衣的分布对生境变化的响应 [J]. *植物生态学报*, 2015, 39(3): 217-228.
- [23] LI S, LIU W Y, LI D W. Epiphytic lichens in subtropical forest ecosystems in southwest China: species diversity and implications for conservation [J]. *Biological Conservation*, 2013, 159: 88-95.
- [24] LI S, LIU W Y, LI D W, et al. Species richness and vertical stratification of epiphytic lichens in subtropical primary and secondary forest in southwest China [J]. *Fungal Ecology*, 2015, 17: 30-40.
- [25] 艾尼瓦尔·吐米尔, 阿地里江·阿不都拉, 阿不都拉·阿巴斯. 新疆阿尔泰山两河源自然保护区岩面生地衣群落特征的研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(9): 74-79.
- [26] 艾尼瓦尔·吐米尔, 热衣木·马木提, 阿不都拉·阿巴斯. 新疆博格达山岩面生地衣群落结构特征 [J]. *生态学报*, 2018, 38(3): 1053-1064.
- [27] 张元明, 曹同, 潘伯荣. 新疆博格达山地面生苔藓植物物种多样性研究 [J]. *应用生态学报*, 2003, 14(6): 887-891.
- [28] 阿不都拉·阿巴斯, 吴继农. 新疆地衣 [M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1998: 1-178.
- [29] JÜRIADO I, LIIRA J, PAAL J. Diversity of epiphytic lichens in boreo-nemoral forests on the North-Estonian limestone escarpment: the effect of tree level factors and local environmental condition [J]. *The Lichenologist*, 2009, 41(1): 81-96.
- [30] ZHANG J T, ZHANG M, MIAN R. Effects of elevation and disturbance gradients on forest diversity in the Wulingshan Nature Reserve, North China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75(10): 904.
- [31] KARGAR-CHIGANI H, JAVADI S A, ZAHEDI-AMIRI G, et al. Vegetation composition differentiation and species environment relationships in the northern part of Isfahan Province, Iran [J]. *Journal of Arid Land*, 2017, 9(2): 161-175.
- [32] 张金屯. 植被数量生态学方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 44-78.
- [33] 王伯荪. 植物群落学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1987: 217-233.
- [34] SEVGI O, COBANOGU G, SEVGI E. Investigation of lichen population and their similarity analysis in Serif Yuksel Forest, Turkey [J]. *Journal of Environmental Biology*, 2010, 31: 135-139.
- [35] CHEN J, BLUME H-P, BEYER L. Weathering of rocks induced by lichen colonization: a review [J]. *Catena*, 2000, 39(2): 121-146.

(责任编辑: 郭严冬)